Możliwości praktycznego wprowadzania robotów współpracujących w różnych technologiach wytwórczych realizowanych w środowisku przemysłowym

Zbigniew Pilat, Wojciech Klimasara, Marek Pachuta, Marcin Słowikowski, Michał Smater, Jacek Zieliński
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

Streszczenie: Chociaż pojęcie robotów współpracujących zostało wprowadzone ponad 20 lat temu, to dopiero w ostatnim czasie przeżywa ono prawdziwy rozkwit. Dzieje się tak głównie za sprawą wprowadzenia lekkich robotów o niewielkim udźwigu, które są wyposażone w funkcje zabezpieczenia zgodnie z obowiązującymi normami. Dzięki temu urządzenia te mogą w bezpieczny sposób współpracować z człowiekiem we wspólnej przestrzeni roboczej. Tak też są reklamowane przez producentów, którzy wieszczą nową erę robotyzacji. Potwierdzają to liczne udane wdrożenia. Aplikacje te jednak koncentrują się na operacjach przemieszczania detali (material handling). Tymczasem statystycznie tego rodzaju wdrożenia stanowią połowę zastosowań robotów przemysłowych. W artykule wskazano na inne obszary technologiczne i przedyskutowano możliwości i bariery zastosowania w nich robotów współpracujących.

Słowa kluczowe: Roboty współpracujące, Komunikacja Robot-Człowiek, bezpieczeństwo w instalacjach zrobotyzowanych

W rozwoju robotyki od lat można mówić o dwóch kierunkach. Z jednej strony próbuje się budować urządzenia, które zastąpią człowieka. Z drugiej strony mamy koncepcje urządzeń, które będą pracowały razem z człowiekiem. W początkowym okresie (lata 60. XX w.) wysiłki zespołów badawczych skupiały się przede wszystkim na przemysłowych zastosowaniach robotów. Takie też były pierwsze wdrożenia [1]. Robotyzacja obejmowała głównie operacje technologiczne, przy realizacji których panowały trudne warunki pracy i człowiek był narażony na działanie czynników szkodliwych (temperatura, hałas, promieniowanie, pyły, opary). Dlatego też jednym z priorytetów projektantów instalacji zrobotyzowanych było odsunięcie człowieka od obszaru zagrożeń. Zastępował go robot. Operator był również odizolowany od samego robota. Obszar roboczy robota był zabezpieczony specjalnymi ogrodzeniami, wyposażonymi w systemy sensoryczne, które wykrywały wejście człowieka, stwarzające możliwość jego kontaktu z robotem. Dla tej grupy robotów opracowano szereg aktów normalizacyjnych. Obejmują one m.in. terminologię [3], gdzie definicję robota przemysłowego przyjęto jako:

„Automatycznie sterowany, reprogramowalny, uniwersalny manipulator, programowany w trzech lub więcej osiach, który może być urządzeniem zamocowanym na stałe albo mobilnym, przeznaczony do zastosowania w aplikacjach automatyki przemysłowej"

W normie tej zaznaczono, że robot przemysłowy zawiera:
- manipulator, wraz z napędami
- układ sterowania, wraz z panelem programowania i interfejsem komunikacyjnym (hardware i software).

I właśnie sposób komunikacji robota z człowiekiem HRC (ang. *Human Robot Communication*) był cechą, która od początku wyróżniała roboty spośród innych urządzeń zautomatyzowanego wytwarzania. W robotach przemysłowych najważniejszym zadaniem systemu HRC było umożliwienie nauczenia robota jego zadania, a następnie zarządzanie jego działaniem i przekazywanie informacji o stanie pracy. Roboty przemysłowe od początku były obsługiwane przez operatorów o pewnej wiedzy, a przynajmniej doświadczeniu technicznym. Instalacją, programowaniem, konserwacją zajmowali się na ogół inżynierowie. Bezpośrednią obsługą na stanowiskach – pracownicy produkcyjni, po odpowiednich przeszkoleniach. Poziom kompetencji technicznych operatorów był jednym z powodów ograniczania zakresu informacji przekazywanych do/od robotów. Również z tego powodu wystarczało stosowanie bardzo prostych metod i środków komunikacji.

Roboty przemysłowe były często duże, miały znaczny udźwig, nawet ponad 1000 kg oraz osiągały duże przyspieszenia i prędkości ruchu. Urządzenia te stwarzały zagrożenie w przypadku

Autor korespondujący:
Zbigniew Pilat, zpilat@piap.pl

Artykuł recenzowany
nadesłany 08.01.2018 r., przyjęty do druku 26.02.2018 r.

bezpośredniego kontaktu z człowiekiem. Dodatkowo roboty operowały z reguły narzędziem lub detalem obrabianym, który nierzadko sam w sobie był niebezpieczny (ostre krawędzie, wysoka temperatura). Dlatego równolegle z rozwojem konstrukcji i zastosowań opracowano także różnego rodzaju przepisy, zalecenia i normy związane z bezpieczeństwem robotów i systemów zrobotyzowanych [6, 11, 12]. Generalną zasadą, którą w nich stosowano, było odizolowanie człowieka od robota, szczególnie gdy ten drugi jest w trybie pracy automatycznej.

Koncepcje wprowadzenia robotów w środowisko człowieka stały się realne dopiero w latach 80. XX w. [2]. Wiązało się to głównie z rozwojem systemów mobilnych, które umożliwiły robotom przemieszczanie się. Powstała osobna grupa robotów, tzw. roboty usługowe. Granica między oboma grupami jest bardzo niewyraźna i wciąż trwają dyskusje, na temat tego podziału. W normie ISO dotyczącej terminologii dopiero w wydaniu z 2012 r. [3] zapisano definicję, według której robot usługowy to:

„Robot, który realizuje zadania pożyteczne dla człowieka lub urządzeń, wyłączając aplikacje automatyki przemysłowej".

Od początku zakładano, że roboty usługowe będą używane przez zwykłych ludzi, którzy nie mają przygotowania technicznego. Jednocześnie zadania przewidywane do realizacji przez roboty usługowe, nakładały wymagania przekazywania między nimi a ich operatorami/użytkownikami znacznie bardziej różnorodnych informacji, w znacznie większych ilościach. Roboty te z założenia pracują w pobliżu ludzi, muszą więc od nich odbierać i zwrotnie przekazywać do nich informacje w czasie rzeczywistym. Roboty usługowe muszą też być bezpieczne w bezpośrednim kontakcie z człowiekiem, żeby nie stwarzały dla niego zagrożenia.

Niewątpliwie dobre przyjęcie robotów usługowych przez użytkowników, szybki rozwój tej grupy urządzeń i stały wzrost wartości sprzedaży rozwiązań komercyjnych, to wszystko miało wpływ na podejmowane próby przeniesienia niektórych rozwiązań na grunt robotyki przemysłowej. Można powiedzieć, że rozwój robotów usługowych przyczynił się do powstania idei robotów współpracujących z człowiekiem w środowiskach przemysłowych.

2. Historia robotów współpracujących

Chociaż idea robotów współpracujących z człowiekiem była obecna w technice, a zwłaszcza w sztuce (głównie literatura science-fiction, komiksy oraz filmy) od wielu lat, urządzenia te przez długi czas nie były klasyfikowane jako osobna grupa, typ, rodzaj. Jednocześnie w wielu ośrodkach naukowych i badawczych prowadzono prace nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi robotów i urządzeń manipulacyjnych oraz ich zastosowaniem, uwzględniając aspekty techniczne, organizacyjne, a także kontaktu z człowiekiem. Niektóre opracowania bardzo szybko znajdowały uznanie odbiorców przemysłowych i pojawiały się na rynku w postaci oferty komercyjnej. Przykładem mogą być roboty SCARA. Inne pozostawiały swój ślad w raportach publikacjach, zgłoszeniach patentowych i czekały na lepsze czasy. Do tej drugiej grupy można zaliczyć roboty współpracujące. W 1997 r. J. Edward Colgate i Michael Peshkin, profesorowie uniwersytetu Northwestern (Evanston, w stanie Illinois, USA), złożyli wniosek patentowy na urządzenie o nazwie "Cobot" [4]. Wcześniej pojawiła się publikacja prezentująca ogólną ideę rozwiązania [5]. Przedstawiano je jako robotyczne urządzenie, które manipuluje obiektami we współpracy z operatorem, człowiekiem.

Sam termin „cobot" został zaproponowany po raz pierwszy przez praktykanta odbywającego w tym czasie w zespole wspomnianych profesorów na Northwestern University staż postdoktorancki. Jego pomysł nowego określenia był odpowiedzią na konkurs ogłoszony w laboratorium, aby wymyślić lepszą nazwę dla urządzenia, nad którym pracowano. Było to urządzenie wspomagające człowieka w przenoszeniu przedmiotów, manipulowaniu nimi. Słowo „Cobot" wyszło poza mury uczelni i zaczęło zdobywać popularność. W tym czasie gazeta Wall Street Journal prowadziła akcję poszukiwania słów, które zrobią karierę w niedalekiej przyszłości („Words of Tomorrow"). Słowo „Cobot" znalazło się na liście opublikowanej w wydaniu z 1 stycznia 2000 r., a student otrzymał nagrodę w wysokości 50 dolarów.

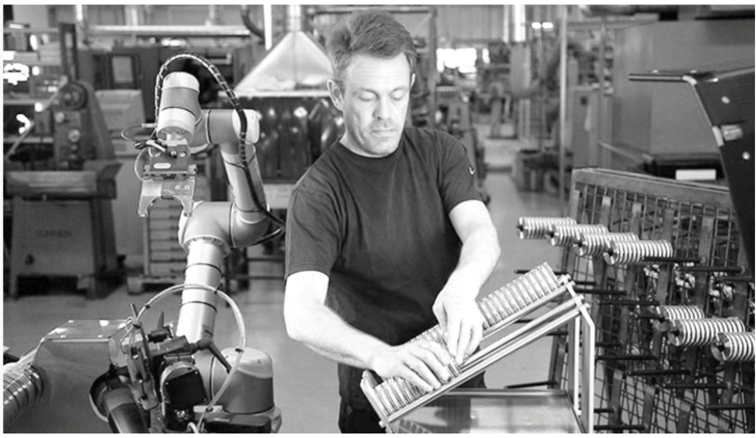
W praktyce roboty współpracujące nie zawojowały rynku. Wprawdzie nowym pomysłem zainteresowały się duże firmy z branży motoryzacyjnej, m.in. Genral Motors i Ford sponsorowały badania prowadzone na Northwestern University. Powstały zespoły zajmujące się tą tematyką również na innych uniwersytetach. Prace w tym obszarze były wspierane także przez amerykańskie agencje federalne (np. NSF National Science Foundation). Pojawiały się nowe publikacje na konferencjach i w pismach związanych z robotyką [7, 8]. Roboty współpracujące znalazły się również w obszarze zainteresowania organizacji naukowo-technicznych (np. RIA The Robotic Industries Association) i standaryzacyjnych. Brakowało jednak konkretnych produktów komercyjnych. Sami wynalazcy próbowali zmienić ten stan, zakładając firmę Cobotics. Jednak po kilku latach działalności bez większych sukcesów sprzedali przedsiębiorstwo znanemu producentowi narzędzi, Stanley Assembly Technologies Inc. dzisiaj śladem tamtych wydarzeń jest informacja na stronie Stanley'a, zatytułowana IAD Applications [9]. Ocalenie dla robotów współpracujących przyszło z Europy, a w roli ratownika wystąpiła firma Universal Robots, założona w 2005 r. w Danii [16]. Cztery lata później firma ta wprowadziła na rynek model UR5 – reklamując go jako pierwszego na świecie robota współpracującego. Miał on 6 stopni swobody, udźwig 5 kg oraz zasięg roboczy 85 cm, przy masie całkowitej 18 kg. Chociaż początkowo można było spotkać się z wieloma sceptycznymi prognozami co do szans tej nowej inicjatywy, sukces rynkowy robotów spod znaku UR szybko rozwiał wszelkie wątpliwości. Robot został bardzo dobrze przyjęty, głównie przez małe firmy. Duży udział w tym początkowym sukcesie miała na pewno cena, istotnie niższa od standardowych robotów przemysłowych o podobnych parametrach. Pierwsze produkty były sprzedawane w Danii i Niemczech, ale firma szybko rozszerzyła swoja działalność na pozostałe kraje europejskie. Wkrótce UR wkroczył na rynek



Rys. 1. Stanowisko z robotem YuMi® – IRB 14000 podczas targów Automatica 2014 (fot. własna autorów)
Fig. 1. Assembly cell with YuMi® – IRB 14000 robot, presented on the Automatica 2014 fair (own photo of the authors)



Rys. 2. Roboty UR pracują obok ludzi, bez żadnych osłon
Fig. 2. UR robots work next to people, without any guards



Rys. 3. Robot UR obsługujący maszynę obróbczą
Fig. 3. UR robot supporting a machining machine

chiński, a od 2012 r. jest obecny w USA. W tym samym roku miała miejsce premiera modelu UR10, oferującego udźwig 10 kg i zasięg 130 cm. W 2015 r. Universal Robots wypuściła UR3 – swój najlżejszy model, o udźwigu 3 kg. Jednocześnie był to pierwszy model zaprojektowany specjalnie z myślą o współpracy z człowiekiem, głównie przy wykonywaniu zadań dotyczących lekkiego montażu. W ślad za Duńczykami wszyscy liczący się producenci robotów na świecie zaczęli prezentować swoje propozycje modeli przystosowanych do współpracy z człowiekiem.

Firma ABB opracowała dwuramiennego robota YuMi – IRB 14000 [17] współpracującego z człowiekiem przeznaczonego do montażu małych części (udźwig robota wynosi 500 gram). Ramiona robota są elastyczne, co umożliwia ograniczenie możliwości powstania urazów, przy kontakcie z człowiekiem. ABB oferuje dodatkowo przeznaczony specjalnie dla tego robota system podający części oraz system do lokalizacji części, wykorzystujący kamerę zintegrowaną z chwytakiem. Stanowisko z robotem YuMi jest prezentowane na różnych targach i wystawach od dobrych kilku lat (rys. 1).

Z kolei KUKA oferuje lekkie roboty kolaborujące LBR iiwa (LBR to skrót od „Leichtbauroboter" lekki robot przemysłowy) przeznaczone do prac montażowych [18]. Posiadają one czułe czujniki momentu obrotowego we wszystkich siedmiu osiach. Czujniki te pozwalają na wykonanie najbardziej delikatnych zadań montażowych bez uszkodzenia elementów. Umożliwiają wykrywanie kolizji ramienia robota z przeszkodą. Dzięki tym czujnikom możliwe jest wodzenie robota za „nadgarstek". Specjalne funkcje oprogramowania pozwalają wykorzystać ten tryb do programowania ruchów robota. Na początek dostępne były dwie wersje o udźwigu wynoszącym 7 kg i 14 kg oraz zasięgu odpowiednio 800 mm i 820 mm.

FANUC [19] pierwszego robota współpracującego zaprezentował w 2015 r. Był to model CR-35iA, o udźwigu 35 kg. W pierwszej połowie 2016 r. FANUC przedstawił kolejny, mniejszy model robota współpracującego – CR-7iA o udźwigu 7 kg. Podobnie jak u poprzednika, jego manipulator jest malowany na charakterystyczny zielony kolor. W materiałach firmy FANUC można spotkać od tego czasu określenie „zielony robot współpracujący".

Swoje propozycje dla segmentu robotów współpracujących prezentują także inne duże firmy, m.in. Yaskawa (Motoman), Comau, Kawasaki. Na rynku są również mniejsze, młode firmy. Przykładem może być Rethink Robotics [20]. Firma ta zaprezentowała w 2012 r. model Baxter – jeden z pierwszych dwuramiennych robotów współpracujących. Jego manipulator (ciało) składa się z głowy, korpusu (tułowia) i dwóch ramion. Na głowie robota znajduje się sonar o zakresie skanowania 360° i kamera, które służą do wykrywania obiektów, w tym ludzi wokół robota. Każde z ramion ma 7 stopni swobody. Mogą one pracować w trybie automatycznym, wykonując zadany program użytkowy, przy wykorzystaniu systemu wizyjnego lub w trybie sterowania ręcznego, za pośrednictwem panelu z zaimplementowanym interfejsem użytkownika. W celu zwiększenia bezpieczeństwa w przegubach robota są zainstalowane czujniki sił/momentów.

3. Roboty współpracujące w dokumentach standaryzacyjnych

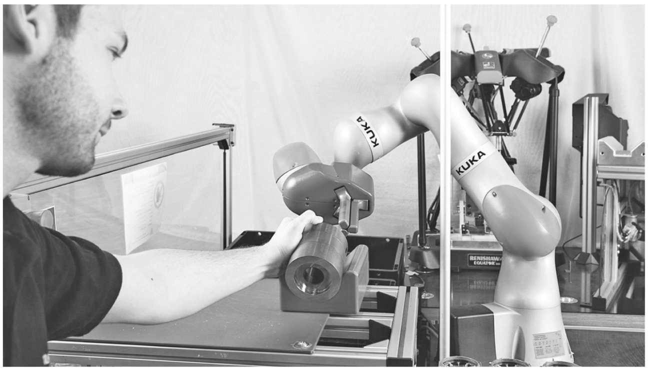
Problematyka współpracy człowieka i robota w środowisku przemysłowym od wielu lat jest przedmiotem prac różnego rodzaju gremiów związanych z opracowywaniem uregulowań prawnych i standaryzacyjnych. W podstawowej normie dotyczącej bezpieczeństwa robotów i systemów zrobotyzowanych, ISO 10218 [11, 12], już w wydaniu z 2006 r. pojawiły się wymagania odnośnie zapewnienia bezpieczeństwa pracy przy zastosowaniu robotów współpracujących w warunkach przemysłowych. W roku 2009 r. niemiecki instytut bezpieczeństwa i higieny pracy BGIA (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz, od 2010 r. IFA Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung) opublikował zalecenia odnośnie projektowania stanowisk z robotami współpracującymi [10]. Ostatnim ważnym dokumentem normalizacyjnym jest specyfikacja techniczna zawierająca ISO wskazówki dotyczące instalacji i użytkowania stanowisk z robotami, które operują we wspólnej z ludźmi przestrzeni roboczej [13]. Prace standaryzacyjne w tym obszarze wciąż trwają. Jest sporo do zrobienia, choćby w zakresie ujednolicenia dokumentów. Przykładowo, definicja samego robota współpracującego jest zarówno w ISO 2018 [12], jak też w normie terminologicznej [3]. I nie są to sformułowania identyczne. O wadze, jaką międzynarodowa organizacja standaryzacyjna przywiązuje do problemów robotyki, w tym do bezpieczeństwa w kontaktach człowieka z robotem świadczy fakty, że w 2016 r. ustanowiono nowy komitet techniczny ISO/TC299 [14] poświęcony wyłącznie robotyce. Jest on obecnie odpowiedzialny za aktualnie prowadzone prace oraz inicjowanie nowych kierunków w obszarze robotyki

4. Wdrożenia robotów współpracujących

Według danych międzynarodowej organizacji obrotowej IFR [15] w 2013 r. około 44% wszystkich robotów zainstalowanych w przemyśle było zastosowanych do realizacji zadań typu „Material Handling". Ta grupa obejmuje m.in. obsługę maszyn, pakowanie i paletyzacje, podawanie części typu pick-and-place. Kolejne 9% robotów jest zatrudnionych przy operacjach montażu i demontażu. W sumie ponad połowa robotów w przemyśle wykonuje zadania polegające na przemieszczaniu



Rys. 4. Współpraca robota i człowieka na stanowisku klejenia bloków montażowych
Fig. 4. Cooperation between a robot and a human being in the position of gluing assembly blocks



Rys. 5. Robot LBR iiwa w Siemens Lead Factory (Bad Neustadt) pracuje ramię w ramię z pracownikiem
Fig. 5. The LBR iiwa robot at Siemens Lead Factory (Bad Neustadt) works hand in hand with an employee

przedmiotów i manipulowaniu nimi. Również roboty współpracujące są wdrażane głownie w tego typu aplikacjach. Najwięcej informacji o tych wdrożeniach można znaleźć na stronach internetowych firm oferujących roboty i ich integratorów.

Firma Atria Scandinavia (Szwecja) jest jednym z wiodących północnoeuropejskich producentów artykułów dla wegetarian i smakoszy zdrowej żywności przeznaczonych do sprzedaży w małych sklepach i łańcuchach sklepów detalicznych potrzebujących całodobowych dostaw. W jednym z jej oddziałów, między około 30-osobową załogą pracują trzy roboty firmy Universal Robots.

Roboty zainstalowano w dziale pakowania (rys. 2). Dwa modele UR5 oraz jeden UR10 są wykorzystywane do paletyzacji i etykietowania. Zarząd firmy podkreśla szybki czas zwrotu inwestycji. Z kolei pracownicy chwalą prostą, intuicyjną obsługę i łatwe programowanie, co prowadzi do redukcja czasu potrzebnego na zmianę produkcji.

Firma BJ-Gear (Dania) jest światowym liderem w produkcji kół zębatych. W firmie wdrożono trzy roboty UR 5 (rys. 3). Są one wykorzystywane do obsługi maszyn (tokarka, frezarka i płuczkę), malowania pistoletem natryskowym, matrycowania kół zębatych i stępiania ostrych krawędzi. Dodatkowo wdrożono robota UR 10, który jest wykorzystywany do automatyzacji procesów wykorzystujących elementy robocze ważące ponad 5 kg. Zautomatyzowane rozwiązania wpłynęły na zwiększenie produktywności i elastyczności w firmie. Dzięki robotom odnotowano wzrost produkcji bez konieczności zatrudniania dodatkowych pracowników.

Firma Franke (Szwajcaria) jest znanym na całym świecie producentem mebli kuchennych. Wytwarza także ponad 10 000 rocznie różnego typu zlewozmywaków, których produkcję zdecydowano zautomatyzować. W procesie produkcji, po wytłoczeniu aluminiowego zlewu po bokach klejone są bloki montażowe. Jest to zadanie powtarzalne, dla operatora nużące i dlatego zostało wytypowane do robotyzacji. W aplikacji wykorzystano robota UR 5 (rys. 4). Operator zakłada kolejne zlewy na stół montażowy. Robot pobiera bloki montażowe, nakłada klej i umieszcza je na ścianach zlewów. Stanowisko umożliwia bezpieczną, elastyczną obsługę bez konieczności stosowania osłon, ekranów, kurtyn. W efekcie automatyzacji uzyskano oszczędność kleju i zmniejszenie liczby błędów podczas przytwierdzania bloków montażowych.

W miejscowości Bad Neustadt an der Saale (Niemcy) znajduje się fabryka Siemensa Lead Factory, w której powstają silniki elektryczne (w tym także silniki elektryczne do robotów firmy KUKA). Przy ich produkcji wykorzystywany jest lekki robot KUKA LBR iiwa, który może ramię w ramię pracować z człowiekiem (rys. 5). Robot jest odpowiedzialny za chwytanie obrobionej już części i skanowanie kodu kreskowego. Po oczyszczeniu powietrzem obrabianych elementów robot doprowadza je do stanowiska pomiarowego. Tutaj stwierdzane są ewentualne nieprawidłowości. Dzięki technologii sieciowej na podstawie dokładnego pomiaru i identyfikacji każdego podzespołu można w razie potrzeby natychmiast obliczyć niezbędną korektę obróbki i zrealizować ją w systemie. Następnie robot umieszcza dobrą część w skrzynce wyjściowej. Części, które muszą zostać poprawione, trafiają do stacji pośredniej, gdzie są dokonywane korekty. Aplikacja jest elastyczna. W razie problemów z robotem, w każdej chwili może go zastąpić pracownik i przejąć obsługę.

5. Konkluzje – perspektywy i ograniczenia wdrożeń robotów współpracujących

Jak wynika z dostępnych informacji, roboty współpracujące są dzisiaj stosowane głównie do automatyzacji zadań związanych z przemieszczaniem przedmiotów i manipulowaniem nimi. Potwierdzają to przytoczone przykłady aplikacji. Wprowadzanie robotów do innych technologii jest dopiero przedmiotem badań. Występują tu specyficzne ograniczenia wynikające z samych procesów. Przykładowo w spawalnictwie, które zatrudnia dzisiaj ok. 30% robotów, w pobliżu procesu panują bardzo szkodliwe warunki dla człowieka (hałas, promieniowanie, temperatura, opary, odpryski). Dlatego odsunięcie operatora od procesu jest wielkim plusem jego robotyzacji. Dodatkowo w praktyce wykonywania operacji spawalniczych przez ludzi, rzadko spotyka się stanowiska wieloosobowe. Trudno znaleźć miejsce także dla współpracującego robota.

Widać, że dużą bariera w szerszym stosowaniu robotów współpracujących jest komunikacja między człowiekiem i robotem. Obecnie do komunikacji i bezpośrednich interakcji w robotach przemysłowych najczęściej jest stosowane urządzenie typu panel programowania wykorzystujące interfejs graficzny. Spełnia on dzisiejsze wymagania klasycznych zrobotyzowanych systemów produkcyjnych. W robotach współpracujących koniecznym jest zastosowanie dodatkowego kanału komunikacji, wykorzystującego inny typ sygnału, dostosowany do procesu. W aplikacjach, gdzie nie ma dużego natężenia hałasu może to być komunikacja głosowa. W innych przypadkach mogą być wykorzystywane sygnały mechaniczne (szturchnięcie robota przez operatora), dodatkowe kanały optyczne (lampy sygnalizacyjne). Celem jest zapewnienie informowania człowieka o stanie pracy robota (np. powiadomienie go

o samym fakcie, że znalazł się w przestrzeni roboczej urządzenia). W druga stronę człowiek musi mieć możliwość poinformowania robota, że jest w pobliżu niego lub wręcz stoi na jego drodze. W pracach badawczych widać wyraźnie tendencje zbliżania sposobu komunikowania się ludzi bezpośrednio z robotami przemysłowymi do komunikacji z robotami usługowymi. Wydaje się, że ostatecznie oba warianty będą dążyć do komunikacji typu człowiek-człowiek. Pierwszym krokiem w realizacji tej wizji jest doposażenia robotów pracujących w instalacjach przemysłowych, w więcej niż jeden zmysł i na jego bazie stworzenie wspomnianego dodatkowego kanału komunikacji.

Innym obserwowanym kierunkiem jest wykorzystanie nowoczesnych rozwiązań z obszaru rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej. Proponuje się wyposażenie ludzi pracujących w hali z robotami, które nie są otoczone ogrodzeniami, a czasem są wręcz mobilne, w specjalne okulary, na których będą wyświetlane informacje, np. związane z bezpieczeństwem. Rozwiązania takie na pewno mogą się sprawdzić w warunkach, gdzie jest wysoki poziom hałasu i sygnalizacja dźwiękowa nie jest skuteczna.

Podsumowując można stwierdzić, że w temacie wprowadzenia robotów współpracujących do praktyki zastosowań przemysłowych jest wciąż wiele do zrobienia. Obecnie oferowane na rynku komercyjnym konstrukcje umożliwiają realizacje wybranych zadań, głównie z obszaru „material handling". Instalacje te muszą spełniać obowiązujące obecnie wymagania w zakresie parametrów technicznych, cech użytkowych, jak też warunków bezpiecznej pracy. Ponieważ tematyka robotów współpracujących jest dzisiaj bardzo popularna w mediach, zarówno za sprawą przedstawicieli sektora nauki i badań, publicystów, jak też firm komercyjnych, traktujących fora dyskusji publicznej jako pola działań marketingowych, obecny lub przyszły (potencjalny) użytkownik tego typu rozwiązań ma wielki kłopot z dotarciem do wiarygodnej informacji, podanej w przystępny sposób. Trudno oczekiwać, że przedsiębiorcy będą sami studiowali dokumenty normalizacyjne lub prawne w tej dziedzinie, z uwagi na ich mnogość, częste zmiany i utrudniony/kosztowny dostęp (dostęp do norm jest płatny). Dlatego ważną rolą jednostek badawczych, szczególnie pracujących na rzecz programów finansowanych ze środków budżetowych, jest upowszechnianie rzetelnej wiedzy odnośnie stanu uregulowań prawnych i standaryzacyjnych oraz promowanie dobrych praktyk w całym temacie automatyzacji/robotyzacji, ze szczególnym uwzględnieniem robotów współpracujących. Transfer do gospodarki innowacyjnych, efektywnych rozwiązań z dziedziny „collaborative robots", zapewniających bezpieczne warunki pracy, a jednocześnie umożliwiających poprawę konkurencyjności krajowych podmiotów na rynkach globalnych jest jednym z celów projektu „Innowacyjne rozwiązanie techniczne umożliwiające bezpieczne współdziałanie człowieka z robotem przemysłowym w jego obszarze roboczym" [21]. Niewątpliwie można się spodziewać rewizji lub zmian niektórych norm i przepisów, jednak jest to proces długotrwały i póki nowe wersje czy całe dokumenty nie zostaną przyjęte do naszego systemu prawodawstwa, ich stosowanie może być co najwyżej przedmiotem dyskusji lub badań.

Podziękowania

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy", finansowanego w latach 2017–2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Bibliografia

1. Springer Handbook of Robotics, Editors: Siciliano B., Khatib O., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
2. Engelberger J.F., *Robotics in Service*, Cambridge, MA, MIT Press, 1989.
3. ISO 8373-2012 Robots and robotic devices – vocabulary.
4. US patent 5,952,796 COBOTS.
5. Colgate J. E., Wannasuphoprasit W., Peshkin M., *Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators*, Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Atlanta, GA, DSC-Vol. 58, Nov. 17–22, 1996, 433–439.
6. Dyrektywa 2006/42/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie ujednolicenia przepisów dotyczących maszyn (Dyrektywa maszynowa MD, z ang. Machinery Directive).
7. Peshkin M., Colgate J.E.: *Cobots*, "Industrial Robot", Vol. 26, No. 5, 1999, 335–341, DOI: 10.1108/01439919910283722.
8. Colgate J.E., Peshkin M., Klostermeyer S.H., *Intelligent Assist Devices in Industrial Applications: A Review.* Intelligent Robots and Systems (IROS) 2003, DOI: 10.1109/IROS.2003.1249248
9. *IAD Applications* – Stanley Assembly Technologies Inc. [www.stanleyengineeredfastening.com/brands/stanley-assembly-technologies/solutions/material-handling/iad-applications]
10. *BG/BGIA risk assessment recommendations according to machinery directive. Design of workplaces with collaborative robots.* BGIA, Edition October 2009, revised February 2011.
11. ISO 10218-1:2011, Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots.
12. ISO 10218-2:2011, Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 2: Robot systems and integration.
13. ISO/TS 15066:2016(E) Robots and robotic devices – Collaborative robots.
14. Strona komitetu technicznego ISO/TC 299 Robotics – [www.iso.org/committee/5915511/x/catalogue].
15. World Robotics 2014 Industrial Robots, published by the IFR Statistical Department, hosted by VDMA Robotics + Automation, Germany 2014, 16.
16. Strona internetowa firmy Universal Robots, www.universal-robots.com/pl/
17. Strona internetowa firmy ABB - robot YuMi – IRB 14000 [new.abb.com/products/robotics/pl/roboty-przemyslowe/yumi].
18. [www.kuka.com/pl-pl/produkty-i-usługi/systemy-robotów/roboty-przemysłowe/lbr-iiwa] – KUKA/roboty LBR iiwa.
19. [www.fanuc.eu/pl/pl/roboty/robot-strona-filtrowania/roboty-współpracujące] – *Fanuc – roboty współpracujące.*
20. Rethink Robotics – [www.rethinkrobotics.com].
21. *Innowacyjne rozwiązanie techniczne umożliwiające bezpieczne współdziałanie człowieka z robotem przemysłowym w jego obszarze roboczym*, [www.safe-collab-rob.piap.pl].

Possibilities of practical introduction of colaborative robots in various manufacturing technologies implemented in an industrial environment

Abstract: Although the concept of cooperating robots was introduced more than 20 years ago, it has only recently been experiencing a boom. This is mainly due to the introduction of lightweight robots with a small capacity, which are equipped with security features in accordance with applicable standards. As a result, these devices can safely work with a man in the shared workspace. So they are also advertised by producers who prophesy a new era of robotization. This is confirmed by numerous successful implementations. These applications, however, focus on the parts handling. Statistically, this type of deployment represent half of use of industrial robots. In the article other technological areas are pointed and possibilities and barriers of using cooperating robots in them were discussed.

Keywords: Collaborative robots, Human-Robot Communication, safety in the robotized installations

dr inż. Zbigniew Pilat
zpilat@piap.pl



Pracownik Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP od 1984 r. Absolwent Politechniki Warszawskiej, kierunek automatyka na Wydziale Elektroniki. Autor/współautor ponad 100 publikacji w obszarze automatyki i robotyki. Współautor podręcznika dla średnich szkół technicznych „Podstawy Automatyki i Robotyki". Kierownik/uczestnik kilkunastu krajowych projektów B+R, ponad 30 projektów międzynarodowych i ok. 40 projektów wdrożeniowych (automatyzacja i robotyzacja). Członek Komitetu Technicznego KT 50 ds. Automatyki i Robotyki Przemysłowej przy PKN. Członek zarządu Polskiego Stowarzyszenia Pomiarów, Automatyki i Robotyki POLSPAR..

mgr inż. Wojciech J. Klimasara
wklimasara@piap.pl



Automatyk i robotyk. Ponad 40-letnie doświadczenie w automatyzacji produkcji oraz konstrukcji robotów przemysłowych, mobilnych inspekcyjnych oraz rehabilitacyjnych. Autor wielu patentów i wzorów użytkowych oraz publikacji naukowych dotyczących budowy i zastosowania robotów. Współautor podręcznika dla średnich szkół technicznych „Podstawy Automatyki i Robotyki".

mgr inż. Marek Pachuta
mpachuta@piap.pl



Wieloletni pracownik PIAP. Zajmował się projektowaniem układów sterowania robotów przemysłowych oraz cyfrowymi układami napędowymi. Obecnie bierze udział w pracach aplikacyjnych robotów różnych producentów w zakładach przemysłowych w Polsce. Prowadzi szkolenia z obsługi i programowania robotów przemysłowych.

mgr inż. Marcin Słowikowski
mslowikowski@piap.pl



Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej kierunek Automatyka i Robotyka. Od 1998 r. jest pracownikiem Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP. Zainteresowania – robotyka przemysłowa, systemy zapewniania bezpieczeństwa w przemyśle, e-learning, ICT, diagnostyka w systemach przemysłowych, Przemysł 4.0, Przemysł 5.0.

mgr inż. Michał Smater
msmater@piap.pl



Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej na kierunku Automatyka i Robotyka. Od 1998 r. pracownik PIAP, zajmujący się realizacją projektów międzynarodowych oraz prac przemysłowych w obszarze automatyki i robotyki.

mgr inż. Jacek Zieliński
jzielinski@piap.pl



Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Obecnie jest pracownikiem Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP. Zainteresowania naukowe – robotyka przemysłowa, zdalna diagnostyka urządzeń i instalacji przemysłowych oraz wykorzystanie e-learningu i nowoczesnych środków wymiany informacji w edukacji zawodowej.